

工业废渣建筑制品丛书

粉煤灰水泥



中国建筑工程出版社

工业废渣建筑制品丛书

粉 煤 灰 水 泥

上海市建筑科学研究所
上海水泥厂

中国建筑工业出版社

粉煤灰是以煤粉为燃料的火力发电厂排出的工业废渣，具有活性，是水泥和混凝土工程良好的掺合材料。

本书主要介绍粉煤灰的来源与性质，粉煤灰水泥的生产要点以及它的性能和应用效果。此外，对粉煤灰在水泥和混凝土工程中的其它用途，特别是对混凝土工程中外掺粉煤灰的经验与效果也作了介绍。

此书可供从事水泥生产及混凝土工程施工的工人、技术人员阅读，也可供从事粉煤灰综合利用的管理人员参考。

工业废渣建筑制品丛书

粉 煤 灰 水 泥

上海市建筑科学研究所

上 海 水 泥 厂

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：3 11/16字数：81 千字

1977年8月第一版 1977年8月第一次印刷

印数：1—7,930册 定价：0.25元

统一书号：15040·3374

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否
是决定一切的。

抓革命，促生产，促工作，促
战备。

社会主义不仅从旧社会解放了
劳动者和生产资料，也解放了旧社
会所无法利用的广大的自然界。

出版者的话

工业废渣是现代工业生产过程中的废弃物。其实废渣不废，只是当人们没有认识、利用它们的时候才被废弃；一旦人们认识并利用了它们，就会变废为宝，化害为利。所以正确处理、积极利用工业废渣，是综合利用的一项重要任务，也是保护环境，造福人民的重大措施。认真做好这项工作，对于发展生产，增加社会财富，保护广大人民群众和子孙后代的健康，巩固工农联盟和促进社会主义建设事业的发展，都具有很大的政治意义和经济意义。

解放后，特别是无产阶级文化大革命以来，在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国人民以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，坚持无产阶级专政下的继续革命，发挥社会主义制度的巨大优越性，在利用工业废渣方面，取得了不少成效。各地区、各部门广泛发动群众，积极利用粉煤灰、冶金渣、煤矸石、煤渣等试制和生产各种砖瓦、砌块、墙板、陶粒、水泥等建筑材料和制品。这样既利用了废渣，又改善了环境，还节约了大量土地和燃料，增加了建筑材料品种，有力地支援了基本建设和工农业生产。事实证明，在优越的社会主义制度和正确的路线指引下，我们不仅可以消除“三废”污染，改善环境，保护人民健康，而且正在把这些废弃物转化为有用的工业原材料或建筑材料，为高速度地发展社会主义经济，提供了新的物质条件。

为了促进工业废渣的综合利用，总结和交流利用工业废渣生产各种建筑材料和制品的经验，进一步推动墙体材料和屋面材料的改革，我社将陆续出版“工业废渣建筑制品丛书”，包括烧结煤矸石砖、烧结粉煤灰砖、蒸养煤渣砖、蒸养冶金渣砖、蒸制粉煤灰砖、粉煤灰硅酸盐砌块、加气混凝土制品、水泥废渣瓦、粉煤灰水泥、粉煤灰陶粒及高炉重矿渣应用等。内容主要是介绍这些建筑材料和制品的生产工艺、性能和应用，及时总结广大群众技术革新的经验。

这套丛书是由有关单位的工人、干部和技术人员采用“三结合”方式进行编写的，可供建筑材料工业和其它工业厂矿中从事工业废渣综合利用的工人及有关人员参考。

1975年2月

前 言

我们伟大的社会主义祖国，煤炭资源极为丰富。以燃煤发电的火力发电厂遍及各地。由于大多数火力发电厂目前普遍采用煤粉锅炉，因此我国每年要排出大量的工业废渣——粉煤灰。这些废渣如不加以利用，就需要占用大量堆灰用地，或排入江河湖海，不仅污染环境、堵塞河道，而且还影响了农业和渔业生产。另一方面，粉煤灰具有活性，可以作为建筑材料工业的宝贵原料，成本低、资源极为丰富。因此，大力开展粉煤灰的综合利用具有重要的政治意义和经济意义。

粉煤灰是一种人工火山灰质材料。它是以氧化硅和氧化铝为主要成分的硅、铝质材料。它本身加水后虽不硬化，但在有水分存在的条件下，能与石灰、水泥熟料发生化学反应，生成具有水硬胶凝性质的化合物。由于粉煤灰具有以上特性，所以粉煤灰可以作为水泥的活性混合材料，用来制造粉煤灰硅酸盐水泥（即粉煤灰水泥）。粉煤灰还可以作为混凝土的掺合料在某些工程、特别是大体积水工混凝土工程中直接掺合使用，以代替部分水泥，改善混凝土性能。此外，还可以利用粉煤灰代替部分生料烧制硅酸盐水泥熟料；或将粉煤灰与适量石灰、石膏混磨，生产无熟料水泥；甚至可以在电厂中采用炉内增钙的方法生产纯粉煤灰水泥等等。由此可见，粉煤灰在水泥和混凝土中的应用是十分广泛的。当前，我国基本建设规模日益扩大，农田水利工程发展迅速，

水泥和混凝土的需用量急剧增加，对水泥的品种也提出了新的要求。因而利用粉煤灰作混合材料生产粉煤灰水泥，或在混凝土工程中直接掺用，是综合利用粉煤灰、支援基本建设的一条十分重要的途径。

我国不少单位很早就对粉煤灰在水泥和混凝土中的应用进行试验研究工作，并取得一定成效。从一九五八年开始，我国水利电力部门有关单位，在三门峡、陈村等水电工程中先后在混凝土施工现场直接掺用粉煤灰，以节约水泥、改善混凝土性能，取得较好的技术经济效果。但是，由于我国火力发电厂大多采用机械收尘，粉煤灰颗粒一般偏粗，影响了掺用的效果。我国水电部水利水电科学研究院在一九六四年就曾提出，应结合我国国情，采用对电厂粉煤灰进行加工磨细的方法来改善粉煤灰质量，促进粉煤灰的利用。实践证明，这条途径是有效的。此外，许多单位还认为，在工厂生产粉煤灰水泥也是积极利用粉煤灰的好办法。在无产阶级文化大革命运动的推动下，上海水泥厂、永登水泥厂等单位在有关单位配合下，先后于一九六六年和一九六七年开始生产粉煤灰水泥，通过多年的使用实践，证明效果良好。在发展粉煤灰水泥的过程中，国家建委建筑材料科学研究院、上海市建筑科学研究所、江油水泥研究所等单位，配合有关生产和使用单位先后对粉煤灰原材料及其制成的水泥的一些性能、生产工艺和混凝土的应用进行了试验研究工作，对进一步利用粉煤灰生产水泥，提供了必要的理论依据。从国外来看，大量生产粉煤灰水泥的主要是法国和日本，一些国家还制定了粉煤灰或粉煤灰水泥的质量标准。美国、西德、英国、荷兰和苏联等国，还将粉煤灰掺入纯熟料水泥中制成油井水泥。可见，粉煤灰在水泥生产中的应用范围正在扩大。

我国目前大多数热电厂系采用湿法排灰，生产粉煤灰水泥时需要增加烘干工序；加之粉煤灰颗粒细、质轻，生产过程中容易飞灰，影响质量，并增加车间粉尘。由于以上原因，致使我国粉煤灰水泥的发展受到一定影响。

为了总结和交流粉煤灰水泥的生产和应用经验，促进粉煤灰水泥的进一步发展，我们根据有关生产、科研和使用单位多年来的实践经验和试验资料，并作了一些调查研究，编写了此书。书中引用的试验资料和推荐的参考数据，基本上多是以我国过去颁布的质量指标和检验方法为依据进行试验和整理的。在编写此书过程中得到国家建委建筑材料科学研究院、水利电力部第十三工程局建筑工程处、永登水泥厂、江油水泥厂、安徽省水利科学研究所、江油水泥研究所和交通部第三航务工程局科学研究所等单位及有关同志的大力协助，提供了宝贵的资料和意见，在此表示深切的感谢。由于我们水平有限，书中难免存在许多错误，欢迎广大读者批评指正。

编 者

一九七六年十一月

目 录

前 言

第一章 粉煤灰的形成、收集与排除	1
第一节 粉煤灰的形成	1
第二节 粉煤灰的收集与排除方法	3
第二章 粉煤灰的性质	6
第一节 粉煤灰的一般物理化学性质	6
第二节 粉煤灰的岩相组成和结构特征	8
第三节 粉煤灰的活性及其评定方法	12
第三章 粉煤灰水泥的配制	22
第一节 原材料的技术要求	22
第二节 粉煤灰掺量的选择	28
第三节 石膏掺量的选择	35
第四节 对水泥粉磨细度的要求	35
第四章 粉煤灰水泥的生产工艺	38
第一节 粉煤灰水泥的生产工艺流程	38
第二节 粉煤灰水泥生产质量控制	40
第三节 生产工艺中应注意的问题	43
第五章 粉煤灰水泥的某些特性	48
第一节 长期强度	48
第二节 耐腐蚀性能	50
第三节 水化热	52
第四节 干缩性及抗裂性	54
第五节 耐热性能	57

第六章	粉煤灰水泥混凝土的性能及应用	58
第一节	粉煤灰水泥混凝土的性能	58
第二节	粉煤灰水泥混凝土的应用	74
第七章	粉煤灰在水泥和混凝土工程中的其它用途	82
第一节	粉煤灰在混凝土工程中的掺用	82
第二节	代替粘土原料生产水泥	96
第三节	石灰粉煤灰水泥	96
第四节	纯粉煤灰水泥	97
第五节	配制矿渣粉煤灰硅酸盐水泥	99
附录一	一些国家的粉煤灰质量标准	101
附录二	日本和法国的粉煤灰水泥标准	104

第一章 粉煤灰的形成、收集与排除

粉煤灰是以燃煤发电的火力发电厂排出的一种工业废渣。由除尘器收集的烟道气体中的细灰称为粉煤灰（或称飞灰）；由炉底排出的部分块状炉渣称为炉底灰（又叫粉煤渣）。电厂煤粉锅炉排出的粉煤灰占整个灰、渣的绝大部分，灰与渣除某些物理特征有所差别外，其性质并无本质上的不同。粉煤灰可以作为活性混合材料用来制造多种水泥，是由它的成分和形成条件所决定的。为此，对粉煤灰的形成过程、收集方法作些简单的介绍。

第一节 粉煤灰的形成

以煤作为燃料的火力发电厂，一般先将原煤磨成细粉（即称煤粉）。煤粉的细度在电厂通常以4900孔/厘米²筛筛余量（%）来表示，对于常用的烟煤来说，它的细度一般控制在15~30%之间。煤粉经过预热的空气以一定比例沿管道吹入锅炉炉膛内进行燃烧，此管道在电厂中通常称一次风管道，即煤粉管道；为使煤粉在炉膛内得到充分燃烧，一般还设有二次和三次风管道，将预热的空气按一定比例吹入炉膛，以利于进一步助燃。

现代大、中型电厂锅炉普遍采用煤粉在炉膛中呈悬浮状态燃烧，燃煤中绝大部分的可燃物都能在炉内烧尽。煤粉中

的不燃物(主要为煤粉中的灰分, 通常占煤粉重量的20%), 大量混杂在高温烟气中, 这些不燃物因受到高温作用而部分熔融, 同时由于表面张力的作用, 形成大量细小的球形颗粒。在锅炉尾部引风机的抽气作用下, 含有大量灰分的烟气流向炉尾; 随着温度的降低, 一些熔融细粒因受到一定程度的急冷, 变成玻璃体状态, 具有较高的活性。在引风机将烟气排出大气之前, 这些不燃烧的灰分, 经过除尘器的作用, 被分离出来。这些由除尘器收集的细灰就叫粉煤灰。

燃煤发电厂使用的锅炉大致可分为: 块煤燃烧的炉排式锅炉, 固态排渣的煤粉锅炉和液态排渣的煤粉锅炉。所有煤粉锅炉在形式上虽有不同, 但在锅炉尾部收集到的粉煤灰基本上是相同的, 仅在炉底排出的粉煤渣有些不同。炉排式锅炉排出的灰渣, 由于温度较低而形成不规则的硬质煤渣。固态排渣煤粉锅炉, 火焰温度在 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之间, 仅占灰、渣总量15%左右的粉煤渣由于受到淋水急冷作用而形成多孔块状。液态排渣煤粉锅炉, 火焰温度达到 $1500\sim 1700^{\circ}\text{C}$ 的高温, 且要求使用的煤粉灰分熔点较低, 因此粉煤渣熔化成液态, 经炉底流入水池, 水淬成粒状玻璃态煤渣, 常呈黑色, 叫做液态渣。在一般大、中型电厂锅炉正常运行状态下, 粉煤灰、渣即按上述顺序形成。

燃煤发电厂的灰、渣排出量, 除与电厂的规模、锅炉的容量有关外, 还与燃煤的品质有关, 燃煤中灰分愈高, 排出的灰与渣也愈多。通常所用的原煤灰分约在25~30%之间, 少数电厂采用较差的煤种如洗中煤, 灰分可高达30%以上。由于我国使用最多的为固态排渣的煤粉锅炉, 因此由锅炉尾部收集到的粉煤灰, 占灰、渣中的绝大部分。

第二节 粉煤灰的收集与排除方法

除尘器是收集粉煤灰的主要设备。电厂用的除尘器按工作原理可分为机械除尘器和电气除尘器两大类。在机械除尘器中又按是否用水，区分为干式和湿式两种。有时为了进一步提高烟气的除尘效果，在一台煤粉锅炉上串联两台不同型式的除尘器，称为组合式除尘器。

目前国内电厂多用机械除尘器，其中又以湿式除尘器使用较多，干式除尘器使用较少。常用的湿式除尘器为离心式水膜除尘器和湿栅式水膜除尘器两种，其除尘效率一般在80~90%之间。干式除尘器的构造型式很多，最常见的有旋风子式、多管式和百叶窗式等，都是根据惯性原理进行工作的。这种除尘器的除尘效率随粉煤灰颗粒的增大而提高，一般除尘效率达80%左右。电气除尘器的工作原理是在电容器上接上高压（40000~90000伏）直流电源，产生高压电场，当带有灰粒的烟气由下而上流过时，带正电荷的灰粒被负极吸引，带负电荷的灰粒被正极吸引，因此大部分灰粒都被吸引到沉积电极上，沉积电极上的灰垢需用振动器定期（每小时6~8次）敲击加以清除，从而使灰粒向下跌入灰斗中。电气除尘器的除尘效率可达95%以上。与电气除尘器相比，机械除尘气虽然除尘效率较差、收集的粉煤灰颗粒较粗，但由于设备比较简单，易于上马，故为我国大多数电厂所采用。电气除尘器的除尘效率高，收集的粉煤灰粒度较细，但由于造价较高，结构复杂，体积庞大，因而目前使用还不普遍，但为了适应环境保护的需要，今后应逐步推广采用。

燃煤发电厂灰、渣的排除方法一般分为两种系统：

一、灰与渣分别排除和输送的混除系统

该系统灰与渣都是湿排的。采用这一方法首先是将锅炉房内的粉煤渣水混合物与除尘器下的灰水混合物分别排除后，再沿着灰渣沟流至灰渣泵房，用离心式灰渣泵或高压水力喷射器加管道升压，水力输送灰渣混合物至灰场或送入沉灰池中。由于这种湿排灰设备比较简单，电厂环境也较卫生，工作人员的操作条件也较好，因此目前在已有的火电厂中，大多采用此法排除灰渣。但是，采用灰与渣的混除系统，不仅使灰与渣混在一起，而且灰、渣的含水量很大，不利于粉煤灰的综合利用。

二、灰与渣分别排除和输送的分除系统

当采用这一系统时，灰与渣的排除和输送均是分开的。锅炉房内的粉煤渣全用湿法排除，但除尘器下的粉煤灰又可分为湿排与干排两种类型。

湿排灰是将除尘器收集下来的粉煤灰用单独的灰沟流入自己的泵房，再经灰泵加各自的管道升压，水力输送至贮灰场。干排灰是将除尘器收集下来的干粉煤灰，经由仓式泵或喷射器或真空泵气力输送到料仓内或干灰转运站。

灰与渣分别排除和输送的分除系统，有利于粉煤灰的综合利用。同时，该系统中分别用渣泵、灰泵以及单独的渣管和灰管输送粉煤渣和粉煤灰，这样还可降低发电厂厂用电耗量，因此在一般情况下采用分除系统是比较合理的。

干排灰排出的干灰不需烘干，对生产粉煤灰水泥来说是比较方便的。但是，由于干排灰需要大量的管道和设备，在输送过程中应防止漏灰和堵塞事故。这就要求干排灰的输送距离离电厂愈近愈好。因此，采用干式除灰系统，一般要求在发电厂附近建有综合利用粉煤灰的工厂，或干灰转运设

施。

一般燃煤火力发电厂的燃烧及排除灰、渣系统如图 1-1 和图 1-2 所示。

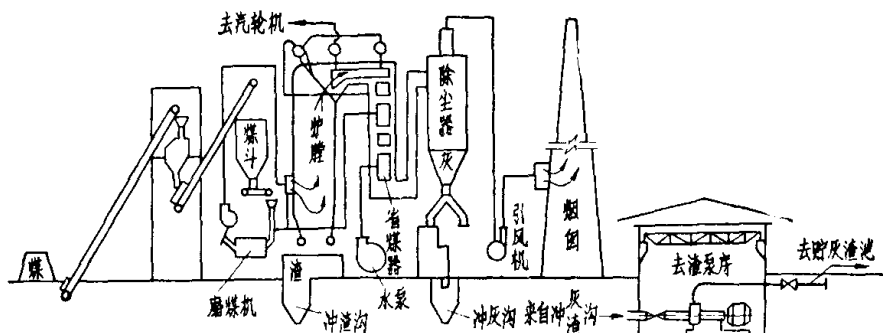


图 1-1 湿排粉煤灰、渣系统

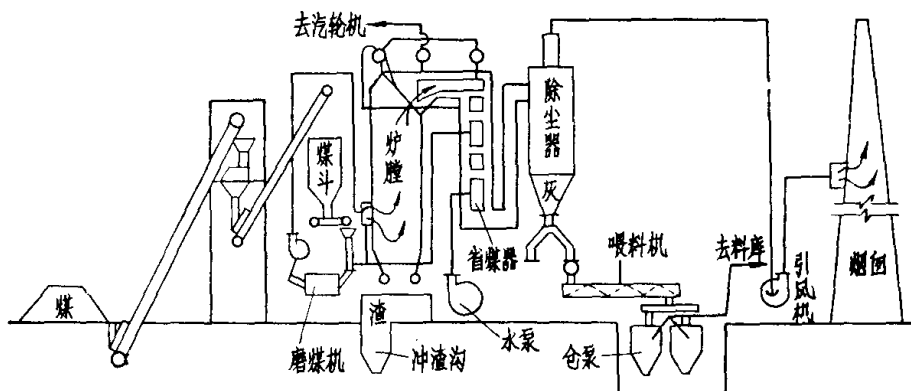


图 1-2 湿排炉渣、干排粉煤灰系统

第二章 粉煤灰的性质

“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用”。粉煤灰能够用来制造多种建筑材料与制品，也正是由于它自身具有一定的火山灰质特性。以酸性氧化物为主要化学成分的粉煤灰，通过高温煅烧熔融，再经过快速冷却后，产生了独特的物相组成和结构。虽然它加水后不能单独硬化，但却能在石灰、石膏等激发剂的相互作用下，在常温下经过水化反应产生强度。因此，粉煤灰可以用来制造水泥与其它一些建筑制品。

第一节 粉煤灰的一般物理化学性质

火力发电厂排出的粉煤灰，随着煤种、煤粉细度、燃烧条件以及收集方法等的不同，其一般物理和化学性质也有所差别。原煤中沉积物（不燃物质）的种类和含量是粉煤灰具有特定的化学成分的主要根据，是造成粉煤灰化学成分波动的主要原因。据不完全统计，我国大多数粉煤灰的化学成分为：氧化硅（ SiO_2 ）含量约35~55%，氧化铝（ Al_2O_3 ）含量约15~40%，氧化硅与氧化铝的总含量一般均在60%以上，这是粉煤灰的主要化学组成，也是粉煤灰活性的主要成分。粉煤灰中的含硫量（以 SO_3 表示）一般很少超过3%。表2-1列举了我国部分地区电厂粉煤灰的化学成分。